持续不间断地推进科研体制创新

——德国成为世界科技强国之路

方在庆

中国科学院自然科学史研究所 北京 100190

摘要 德国的科技强国之路并不平坦，在此过程中有许多因素发挥了积极作用。其中，不间断的体制创新起到了至关重要的作用。德国科学从创立之初，一直受惠于体制创新。差不多每隔百年，德国的科研体制都会发生根本性的变革。其间，1810年柏林大学的建立，1887年帝国物理技术研究所的成立，1911年威廉皇帝学会的建立以及二战后作为威廉皇帝学会后继者的马普学会的扩张，其他三大“大学之外的研究机构”（弗劳恩霍夫学会、亥姆霍兹学会和莱布尼兹学会）各司其职，以及20世纪末以来开展的“卓越战略”，都是标志性的事件。除天时地利外，德国科学家和科学政策制定者的忧患意识扮演了极为重要的角色。当处于落后地位时，虚心向比自己发达的国家学习；而当处于领先地位时，又未雨绸缪，克服内外压力，精益求精从不满足，这才使得德国的科研体制永葆活力，长盛不衰。

关键词 德国科技强国之路，体制创新，大学之外的研究，卓越战略

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.05.007

历史上，德国曾一度是个落后的国家。俾斯麦经过三场王朝战争，才最终在1871年将德国在政治上统一起来。之后，德国的科学、技术、经济和文化等方面得到迅猛发展。到一战前，德国俨然已成为欧洲最强大的国家，首都柏林也成为世界的“科学中心”。之后的德国却出人意料地走了一条崎岖的发展道路。两次世界大战、东西方两大阵营的“冷战”，以及两个德国奇迹般的重新统一，都让德国处于世界历史的聚焦点。目前，德国虽已不再是世界头号强国，在科学上已不处于一流地位，但尚处于第一阵营，它的“一举一动”仍牵动着世界的神经。

如果从莱布尼兹1700年创立的普鲁士科学院算起，真正的德国科研建制走过了300多年的不平坦之路。差不多每隔100年，德国的科研体制都会发生根本性的变革。其间，1810年柏林大学的建立，1887年帝国物理技术研究所的成立，1900年前后高等工学院升格为大学并拥有博士学位授予权，1911年威廉皇帝学会的建立以及二战后作为威廉皇帝学会后继者的马普学会的扩张，弗劳恩霍夫学会、亥姆霍兹学会和莱布尼兹学会各司其职，以及20世纪末以来开展的“卓越战略”计划，都是

资助项目：中国科学院战略研究与决策支持系统建设专项项目（GHJ-ZLZX-2018-17-2）
修改稿收到日期：2018年5月1日

标志性的事件。其中，关键时期是1871—1914年。德国在短短的40多年时间里，建立了一个分工明确的科研创新体制，从而使一个落后的农业国一跃成为欧洲最发达的工业大国。这在世界历史上都是了不起的成就。此外，德国科学家和科学政策制订者的忧患意识扮演了极为重要的角色。当处于落后地位时，虚心向比自己发达的国家学习；而当处于领先地位时，又未雨绸缪，克服内外压力，精益求精，从不满足，才使得德国的科研体制永葆活力，长盛不衰。

1 普鲁士科学院：草创时期的头一百年

1806年，当普鲁士被拿破仑法国打败时，莱布尼兹倡导成立的普鲁士科学院刚过了百年华诞没多久。1700年成立普鲁士科学院的初衷，是为了向法国科学院和英国皇家学会学习，提升国家的形象，表明普鲁士不只是一个崇尚武力的北方蛮邦，也有追求知识的文化之地。但直到1809年前，普鲁士政府都没有直接出资。为了能让科学院正常运转，在莱布尼兹的建议下，科学院获得了在勃兰登堡地区销售年历的垄断权。像18世纪的大多数机构一样，普鲁士科学院的官方语言是法语，其最活跃的成员也大多是逃避宗教迫害而来的胡格诺教徒。在腓特烈大帝当政时期（1740—1786年），普鲁士科学院得到长足发展。科学院出钱为悬而未决的科学问题向公众征求答案。这时科学院有了自己的天文台、解剖学教室、植物园和实验室。

受伦敦和巴黎的影响，普鲁士科学院也卷入了当时的牛顿—莱布尼兹之争。由于腓特烈大帝的偏爱，科学院聚集了一批来自法国的启蒙思想家，如伏尔泰、达朗贝尔和孔狄亚克等人。而内部的纷争让科学院在18世纪中叶陷入危机，尤其是伏尔泰与莫泊丢之间的个人冲突，给科学院带来了极大的损害。但到了1789年，当腓特烈大帝邀请拉格朗日接替欧拉担任院长时，普鲁士科学院获得了极高的国际声望，同时也对德国文化和思想作出了卓越贡献。普鲁士科学院的宽容精神，吸引了当时最著名的知识分子，如康德、拉美特里等人。康德关于宗教的著作就是在柏林出版的。而在欧洲任何其他地方，这样的著作肯定会因被审查而无法出版。

总体而言，在这头一个百年内，科学与国家、社会需求没有实质性的联系，从事科学研究更大程度上是学者的兴趣使然。

2 以柏林大学为根基：打下扎实基础的第二个百年

面对拿破仑的铁蹄，普鲁士的统治者深感自身的差距。如何在政治、经济和军事都大幅落后于法国的局面下恢复国力，是摆在德意志有识之士面前的难题。1810年柏林威廉大学（1949年后改名为“洪堡大学”）的成立，虽是救亡图存之举，但事后证明，这种通过教育改革提升整个民族竞争力的做法，是献给普鲁士科学院百年纪念的最好礼物，也标志着第二个百年有了一个良好的开始，德国科研体制与国家的命运紧密地联系在一起。

众所周知，以前的大学主要以传授知识为主，没有为新知识的产生留下任何空间。在威廉·冯·洪堡（1767—1835年）看来，大学是一种最高手段，只有通过它，普鲁士才能为自己赢得德意志世界以及全世界的尊重，从而取得真正的启蒙和精神教育上的世界领先地位。学术研究是个人处于既孤寂（Einsamkeit）又自由（Freiheit）的状态下思考的结果。只有处在这种状态中，个人的注意力才能高度集中，从而产生创造性的工作。教学必须与研究紧密结合，每个人都可以按照自己的意愿和个性发展，从事他喜欢的学术研究[1]。正是在这种思想的作用下，“探索的体制化”第一次融入了教学，追求科学和学术研究成为德国大学的核心特点。

柏林大学的成功也影响了德国乃至世界的大学教育模式。不仅德意志大地上纷纷以柏林大学为范本进行大学改建，国外的大学也径向效仿。这种强调教研合一的模式使得德国的研究环境到了19世纪中期有了很大的改

变，给德国带来了科学上的繁荣，对德国工业化的发展和综合国力的提高，起到了非常重要的作用。到了19世纪末期，德国在科学的各个领域已经居于领先地位。

研讨班（Seminar）作为一种新型的、更为紧密的教学模式开始出现并得到很好的发展。它看重的是观念以及知识交流，它比讲座有着更小的课堂规模和更亲密的气氛，被认为是学习的高级阶段，是为那些真正投身于专业研究的人设置的。研讨班的形式启发了现代意义上的研究，导致了现代意义上的博士学位的出现，引出了学术化、分科化的“学科”或专业，使现代大学的组织形式演变为以“院系”为单位。新型研讨班在传遍德国、传遍各个学科的同时，也有力地促进了新型批判方法的普及。当时的德意志人才辈出，那些在科学史上耳熟能详的名字，如高斯、李比希、霍夫曼、亥姆霍兹、克劳修斯、基尔霍夫、黎曼和凯库勒等，正是在这个时代出现的。

实验室的价值也在这时受到重视。19世纪20年代以前，实验室研究还处于一种卑微的地位。它被认为是专为药剂师今后的职业培训所设计的，不适合于大学。是李比希让实验室的地位得到提高。1824年，李比希担任吉森大学的编外教授。上任伊始，他就和两名同事建立起了自己的教学实验室，很快便招募了20人。李比希还自己设计了新的设备并投入使用，让实验分析得更快、更准确。李比希领导的吉森化学实验室，成为当时欧洲乃至全世界的一流实验室。那里集结了欧美各国最有才华的青年。后来奠定染料化学和染料工业基础的霍夫曼，广为流传的梦见苯的环状结构的凯库勒，都是这个实验室的成员。他们以在世界上任何其他地方都未曾有过的实验室规模和实验热情，夜以继日地进行着实验研究。

3 开创“大学外研究”先河：帝国物理技术研究所

工业界的巨大需求，使得大学教授成了实验室的抢手货。1887年，才成立了16年的“德意志第二帝国”各方面都欣欣向荣，许多行业都忙于对主要源自英国的技术进行仿造和改造，尤其是电工设备和机床制造行业。为提高德国产品的质量，急需发展相关的测量技术。这就需要一批既懂理论，又能满足工业界需求的高级人才。而在德国任何一所大学，教授都必须完成时数不少的教学任务。这对那些只想从事研究工作的学者来说，无疑十分为难。

包括西门子（1816—1892年）和亥姆霍兹（1821—1894年）在内的来自实业界和学术界的有识之士，开始奔走呼吁成立一种全新的、大学以外的学术研究机构。它必须首先满足国家的战略需求，独立于大学之外，没有教学义务，以研究为导向；同时还不受各邦国的钳制，只接受来自中央政府的拨款和私人企业的捐赠。他们的建议得到当时德意志议会的支持，帝国物理技术研究所（PTR）应运而生。它为后来一系列的大学外研究机构的成立开了先河。政府投资了70多万马克，西门子捐了2万平方米土地用于研究所的建设。亥姆霍兹任首届所长（1887—1894年）[2]。

无论西门子还是亥姆霍兹，都认识到了基础科学研究、技术发展和经济应用之间关系。西门子表示，科学“应引入技术”，以提高国民的物质福利。国家对科学和技术研究的支持必须服务于经济利益。他鼓励在柏林、斯图加特、慕尼黑、亚琛和汉诺威等地的工业大学设立电子工程专业的教席[3]。

帝国物理技术研究所（PTR）在保证德国工业产品的质量方面其作用尤为关键。当今德国产品的质量在世界上享有盛名，与PTR打下的牢固基础密不可分。PTR为基于科学的工业制定了相应的标准，对科学仪器、测量装置和材料进行检测和证明。PTR还进行过一系列重要的实验，如著名的黑体辐射实验，其为量子物理学的诞生奠定了基础；PTR站在了19世纪末—20世纪初科学技术的体制创新的最前沿。也许最能证明其成功的就是它带来了许多模仿者，如英国的国立物理学实验室和美国的国家标准局。

4 从威廉皇帝学会到马普学会：确立科研创新体系的第三个百年

1911 年威廉皇帝学会的成立，距离柏林大学成立恰好一百年。按照德国科学史学者 Dieter Hoffmann 的观点，之所以在大学之外建立这种从事基础研究的机构，主要是为了让更多的研究人员有精力从事前沿基础研究[4]。到了 19 世纪末，学生人数越来越多，教授的教学任务越来越重，以至于无暇进行研究；而面对各方压力，尤其是来自无论从幅员还是人口都远超德国的美国的压力，有识之士倡议政府应该资助成立一系列类似帝国物理技术研究所的机构。这一倡议得到了德皇威廉二世的支持。由于政府财政短缺，最初只负责给研究所成员发工资。研究所的资金主要来自于私人资本家，其中以犹太裔银行家、实业家为主。尽管德国实业家捐赠了巨资，威廉皇帝学会总是试图从不同的渠道谋得资金，以免受某个特定捐资者意愿的左右。

威廉皇帝学会研究所的目的，是为科学界精英进行基础研究提供最优质的服务，让研究人员没有任何后顾之忧。尽管每个研究所都有自己的研究导向，但对研究人员自己的研究兴趣却不做太多限制。在这里，科学家没有任何教学义务，却拥有当时最现代化的设备以及大量可供支配的员工。研究所按照所谓的“哈纳克原则”（Harnack-Prinzip）组建，即先找到一位非凡的科学家担任所长，然后由他来挑选成员。威廉皇帝学会的本意，是充分相信所长在学识和组织方面的才能，让研究具有一种高贵的气质，并能保证研究的持续性和灵活性。但在实际运行过程中，尤其是政治动荡的年代，“哈纳克原则”被无情地滥用了。

一战爆发后，威廉皇帝学会研究所经历了最严峻的打击。许多研究所都从事与战争有关的研究，其中以弗里茨·哈伯（1868—1934 年）领导的威廉皇帝物理化学与电化学研究所最为典型。在爱国主义旗帜下，哈伯带领全所从事与战争有关的“毒气”研究。

一战结束后，德国的研究工作被迫处于停滞状态。一些原来热心支持科学研究的企业，由于自身不景气，也停止了对研究所的资助。众多研究所的预算低到了难以为继的地步。为了能在困难的情况下，继续从事科学研究，在哈伯等人的呼吁下，1920 年 10月30日成立了“德意志科学应急协会”。之后又陆续成立了德国科学应急协会捐赠者联合会以及其他一些基金会，如李比希基金会、菲舍尔基金会和拜尔基金会等。这些协会或基金会的目的是为了给处于困顿中的德国科学研究提供些许帮助，其运作方式与后来的“同行评议”体制非常相似。

威廉皇帝学会研究所在科学上成就斐然，做出过许多突破性的发现，最著名的是铀原子裂变现象的发现。这一现象由化学家奥托·哈恩（1879—1968 年）和弗里茨·斯特拉斯曼（1902—1980 年）发现的，经过他们以前的同事，当时为躲避纳粹迫害而流亡在瑞典的丽泽·迈特纳（1878—1968 年）的解释，才弄清发现的本质。这一发现影响了世界历史的进程。

毋庸讳言，威廉皇帝学会也进行过一些极其负面的研究。如前面提到的“毒气”研究，以及纳粹时期进行的生物医学、人类学研究。最为黑暗的是配合纳粹政策，在集中营进行的人体实验。

5 追求卓绝，踏上永不停息的体制创新的第四个百年征程

德国在 20 世纪初，已初步形成了一个具有自我驱动机制的国家创新体系。经过一个世纪的演变，德国的科学研究可粗略地分为在高等院校（大学）里进行的研究和“大学以外的机构”（non-university research institution）进行的研究。后者主要是马普学会、弗劳恩霍夫学会、亥姆霍兹学会和莱布尼兹学会。

高等院校在德国国家创新体系中的定位和作用十分清晰：培养后备力量并从事广泛的研究。德国的高校有很强的自主性，是学术研究的“象牙塔”。在继承洪

堡传统的同时，也经历了若干重大的变革，其中最突出的是20世纪60年代初进行的高等教育大众化改革，以及21世纪初实行的“卓越战略”。

曾经引以为豪的德国教育，在20世纪50年代末面临重重危机，甚至被称为“教育大灾难”[5]。教育改革的要求已十分迫切。后备人才捉襟见肘，科学家与教授的年龄结构不合理，大学新生数量落后于欧美主要发达国家。

为了满足公平教育和科研发展的需求，20世纪60年代初德国进行了高等教育改革。首要措施是奉行“均等主义原则”，扩大学校和在校学生的数量，改建、新建和扩建了一批高等院校。1965—1975年，德国新建了24所大学。由于更加重视科学与工程技术学科，原来的高等技术学校（TH）升格为工业大学（TU），相关专业的学生能够拿到博士和硕士学位。在高校数量迅速扩张的同时，在校学生人数持续增加，从改革前的30多万人升至20世纪90年代的100多万人，在同龄人口中的比例也从7%上升到30%[6]。

通过教育改革，扩大了受高等教育的人口规模，丰富了人才培养的形式，为德国各行业，特别是科学与工程技术领域培养了大量专业人才，总体上提升了劳动人口的素质，解决了科研后备力量不足的问题。

如果说20世纪90年代之前，德国高等教育的变革强调的是“量”与公平，那么2005年开始实行的“卓越倡议”（2017年后，改称“卓越战略”），则强调突出“质”的提升与大学的精英化。

20世纪90年代，德国的高等教育受到严峻的挑战：① 政府财力下降，对高等教育的资助有时捉襟见肘。② 与美国等国家相比，德国在高技术的国际竞争中相对乏力，人才流失严重。③ 德国大学的国际影响力与竞争力下滑，不仅反映在获诺贝尔奖的人数或是在各种排行榜上的排名，更主要反映在后备人才的培养方面，特别是在博士等高端人才的培养模式呈现明显弊端，例如学位授予模式陈旧、在读时间过长，就业市场的竞争力不及英、美等国的研究生等。有学者甚至发出德国大学“没有未来”的警告[7]。越来越多的人呼吁改革高等教育，用评估、竞争的方式，提高效率和质量。

“卓越战略”是由德国联邦教研部（BMBF）和德国科学基金会（DFG）发起的，目标直指提高促进德国大学的科学研究和学术创新。这两个机构也负责该计划的组织、评估和监测。通过在各大学之间引入直接竞争，择优选择给予资助。“卓越战略”每5年为一个资助周期，至今已启动了2007—2012年和2012—2017年两个阶段。经费由联邦政府与各州政府负担，其中75%由联邦提供，25%由各州筹措。

“卓越战略”的资助分为3个层面：研究生院、卓越集群和未来战略。① 研究生院计划，主要为青年科学家和优秀的博士研究生提供优异的科研环境，提高研究生的培养质量，并发挥他们在尖端研究的国际竞争中的关键作用。研究生院提供广泛的研究领域，并且鼓励研究生参与国际学术组织，扩大学术交流并提升学术显示度。② 卓越集群计划，用于资助大学采取设立机构等必要的措施，促进大学与研究机构、企业之间跨学科的合作，增强在研究和培训方面的竞争力。此外，卓越集群计划还为青年科研人员提供良好的就业条件或者职业培训。③ 未来战略，旨在打造一批国际一流大学，以长期保持和增强在国际学术竞争中的领先地位，并且有利于提高德国大学的国际知名度和竞争力。

在第一阶段后，“卓越战略”被认为取得了巨大成功，主要表现在以下3个方面：① 引入竞争和差异化，打破了原有的均质格局，有利于创新。加快了大学之间的分层，突出了发展的重点。② 大学参与尖端研究，发挥创新优势。不论是研究生院，还是卓越集群和未来战略，“卓越战略”都侧重于青年科学家与博士研究生的培养。他们将是未来创新的主力，更多、更好地参与研究，有利于高质量人才的培养。③ 德国大学的国际形象和竞争力得以明显提升。大学较以往更能吸引世界一流的科学家和学者，有助于研究与教学水平的提高。

当然，“卓越战略”也受到许多批评。它们主要集中在 5 个方面：① 破坏了原已形成的教育公平原则。② 经费不足、时间仓促，效果有限。③ 加剧区域之间的不均衡。“卓越战略”的资金仅 3% 投入于东部的大学，这不仅给当地的高等教育的发展造成不利影响，也会进一步加重人才流失，长期下去可能导致地区的教育和经济发展的停步甚至倒退。④ 存在重研究而轻教学的隐患。⑤ 强调学科还是突出大学仍存在争议。

总之，“卓越战略”已在争议中推行开来。德国高等教育改革的目标始终明晰——着眼于未来、面对日益激烈的国际竞争，提升高等教育实力，培养世界一流的人才。

6 结语

居安思危，永不满足现状是德国科研体系的一大特色。当其落后时，他们非常善于向强邻学习，英、法的技术和资本引进，对于德国早期的现代化起到非常关键的作用；但当其处于鼎盛时，他们又担心被后来者赶上。面对不同的情形，德国科学家和科学政策制订者本着务实精神，不断反思，调整适应。既雄心勃勃，又深谋远虑。三百多年来不间断地进行体制创新，永葆科研活力。

参考文献

1 朱慧涓, 方在庆. 洪堡大学200周年. 科学文化评论, 2010, 7(6): 117-125.

2 赵克功, 刘新民, Konrad Herrmann. 德国联邦物理技术研究院成立125周年——中德计量技术合作回顾与展望. 中国计量, 2010, (9): 48-49.

3 Pfetsch F. Scientific organisation and science policy in imperial Germany, 1871–1914: The foundation of the imperial institute of physics and technology. Minerva, 1970, 8(1-4): 557-580.

4 Hoffmann D. Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Der Einstein-Verein, Der Tagesspiegel, 2011-01-09.

5 Sachsse M. Die Deutsche Bildungskatastrophe und Die Reformen Der 60er Jahre. Orléans: GRIN Verlag, 2009..

6 福尔. 1945年以来的德国教育：概览与问题. 肖辉英, 陈德兴, 戴继强, 译. 北京: 人民教育出版社, 2002: 300.

7 Thumfart A. Universität ohne Zukunft. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2004: 205-221.

8 MEYER-KRAHMER F. Globalisation of R&D and Technology Markets, Consequences for National Innovation Policies. Heidelberg: Physica-Verlag, 1999.

Uninterrupted System Innovation

—Road to Germany's Scientific and Technological Power

FANG Zaiqing

(Institute for the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Many factors have played a role on Germany's road to a powerful science and technology. Among them, the well supported and constantly changing scientific research system has played a crucial role. German science has benefitted from institutional innovation since its inception. Nearly every 100 years, Germany's scientific research system undergoes major changes. These include the establishment of the University of Berlin in 1810, the establishment of the Kaiser Wilhelm Society (KWG) in 1911, the expansion of the Max Planck Society as the successor to the KWG after WWII., as well as the establishment of three big "non-university research institutions"—the Fraunhofer Society, the Helmholtz Society, and the Leibniz Society—and the "Excellence Strategy" in this century. All of these are milestone events. In addition, German scientists and science-policy makers play an extremely important role. When behind the forefront of research, they humbly learn from other countries that are more advanced; when they are in a leading position, they take precautions, strive for excellence, and constantly overcome internal and external pressures in order to maintain their advantages. Always striving for excellence, the German scientific research system will remain ever dynamic.

Keywords road to Germany's scientific and technological power, institutional innovation, non-university research institution, excellence strategy



方在庆 中国科学院自然科学史研究所研究员，博士生导师。2001年入选中国科学院“百人计划”。1979年就读吉林大学物理学，1991年在武汉大学获哲学博士学位。曾先后任教于浙江大学、清华大学，担任美国麻省理工学院“杰出访问学者”，德国慕尼黑大学埃里克·弗格林教席（Eric-Voegelin-Professur，C3）以及德国比勒菲尔德大学客座教授等。担任《科学技术哲学》《科学文化评论》等杂志编委。研究方向为科学史、科学哲学和科学社会学，尤其关注爱因斯坦、德国的科学与现代化。发表论文40多篇，出版论著和译作多本。

E-mail: fang@ihns.ac.cn

FANG Zaiqing Research Professor and Ph.D. supervisor at Institute for the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences (CAS). In 2001, he was selected into the "Hundred Talents Program" of CAS. He studied physics at Jilin University, graduated in 1979, and received Ph.D. in philosophy from Wuhan University in 1991. As faculty, He worked at Zhejiang University and then at Tsinghua University. As an "excellent visiting scholar", he visited Massachusetts Institute of Technology (MIT). He held the Eric-Voegelin-Professur (C3) at the University of Munich, Germany, and was a visiting professor at the University of Bielefeld, Germany. He also serves as an editorial board member of the journals *The Philosophy of Science* and *Technology and Science and Culture Review*. His research focuses on the history of science, philosophy of science, and sociology of science, with special attention to Albert Einstein and to science and modernization in Germany. He has published more than 40 articles and 12 books, including translations. E-mail: fang@ihns.ac.cn